

# SELENE-B 着陸船の高精度位置決定によるサイエンス

荒木博志<sup>1)</sup>、花田英夫<sup>2)</sup>、河野裕介<sup>3)</sup>、河野宣之<sup>2)</sup>、ILOM 検討グループ

1) 国立天文台 (水沢観測センター)、2) 国立天文台 (地球回転研究系)

3) 総合研究大学院大学

---

目次)

- 1、月面測地 (測月) 基準点網
- 2、月面上の新しい基準点確立
- 3、物理秤動モデル検証

## ◆ 月座標系

- 1、 慣性軸座標系(principal axis coordinates) : P
- 2、 平均地球/極軸系(mean-Earth/polar-axis coordinates) : M

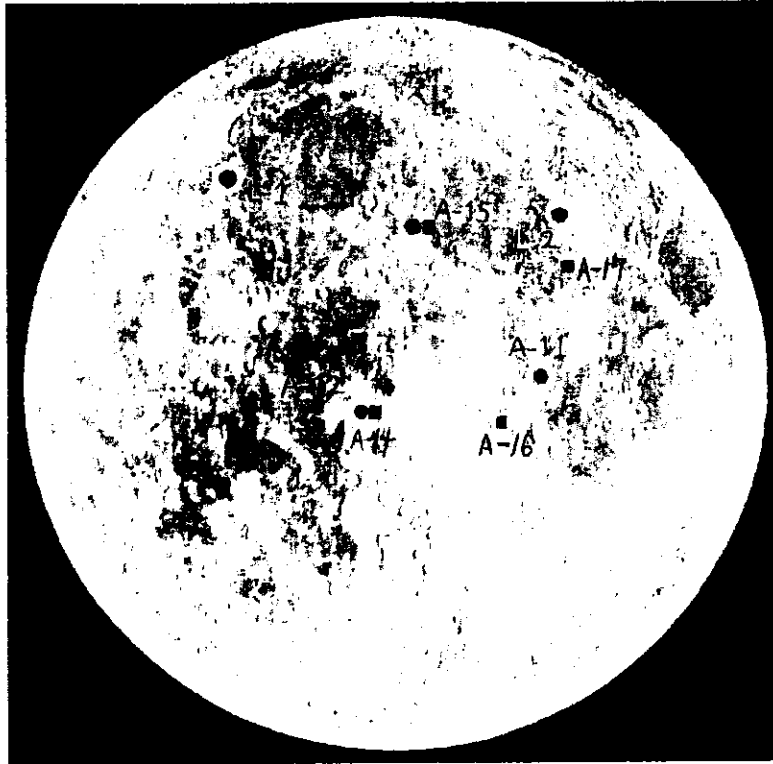
いずれも月重心原点

変換  $P \rightarrow M : M = R_1(-0.15'') \cdot R_2(-79.12'') \cdot R_1(-66.48'') \cdot P$  (Williams et al. (1996))

※ 1 と 2 が一致しないのは、3 次以上の重力係数によるトルクのため

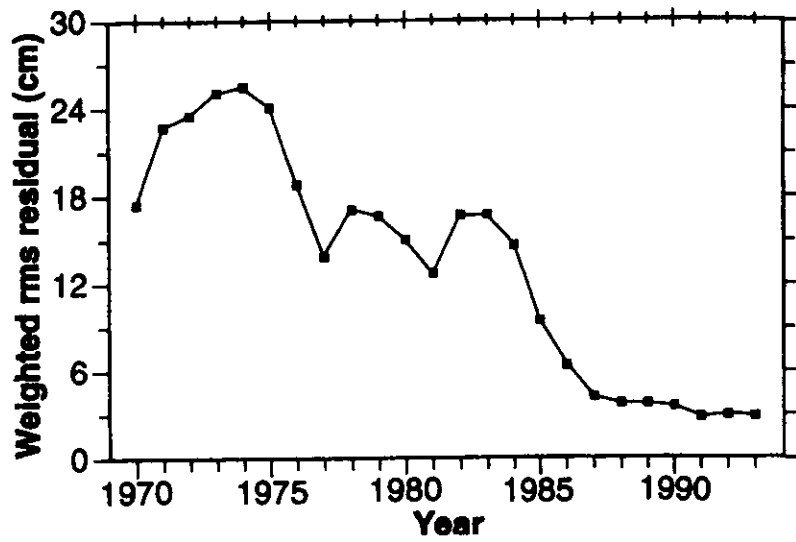
※ 地形図では 2 の平均地球/極軸系が使われている

◆ LLR, ALSEP の配置



LLR (●) と ALSEP(■)の分布。A はアポロ、L はルノホート。  
Dickey et al.(1994)より。

◆ LLR 計測精度



LLR 計測精度。最近十数年では 2~3cm になっている。  
Dickey et al.(1994)より。

## ◆ LLR、ALSEP 及び月着陸船の位置座標

(平均地球/極軸系)

Point	Latitude, (deg. N)	Longitude, (deg. E)	Radius, (m)
<b>Lunakhod 2</b>			
LRRR	25.83223	30.92201	1734638
<b>Apollo 11</b>			
LRRR	0.67337	23.47293	1735472
Lunar module	0.67408	23.47297	
<b>Apollo 12</b>			
ALSEP	-3.00942	-23.42458	1736014
Lunar module	-3.01239	-23.42157	
<b>Apollo 14</b>			
LRRR	-3.64421	-17.47880	1736335
ALSEP	-3.64398	-17.47748	1736343
Lunar module	-3.64530	-17.47136	
<b>Apollo 15</b>			
LRRR	26.13333	3.62837	1735476
ALSEP	26.13407	3.62981	1735477
Lunar module	26.13222	3.63386	
<b>Apollo 16</b>			
ALSEP	-8.97537	15.49812	1737453
Lunar module	-8.97301	15.50019	
<b>Apollo 17</b>			
ALSEP	20.19209	30.76492	1734814
Lunar module	20.19080	30.77168	

※ LRRR 位置誤差は 3 m 以下 (Davis and Colvin (2000))。

※ ALSEP 位置誤差は水平方向 10 m、垂直方向 30 m (同上)。ただし Apollo 14,15 では 5 m 以下。

◆月面測地基準点網(Unified Lunar Control Network:1994 version)

※月面上1478点の位置データ (平均地球/極軸系)

アポロ            304点 (誤差: 表側100m、裏側500m)

ガリレオ        200点 (誤差: 1~1.5km)

マリナー10号   63点 (誤差: 1.5km~2km)

地上観測        911点 (誤差: 2~3km)

Davis et al. (1994) より

◆SELENE-B 着陸船及びローバーの高精度位置決定（新しい測月基準点1）

◇着陸船&クエーサーの相対 VLBI 観測 (VERA)による高精度位置決定（精度 10cm）

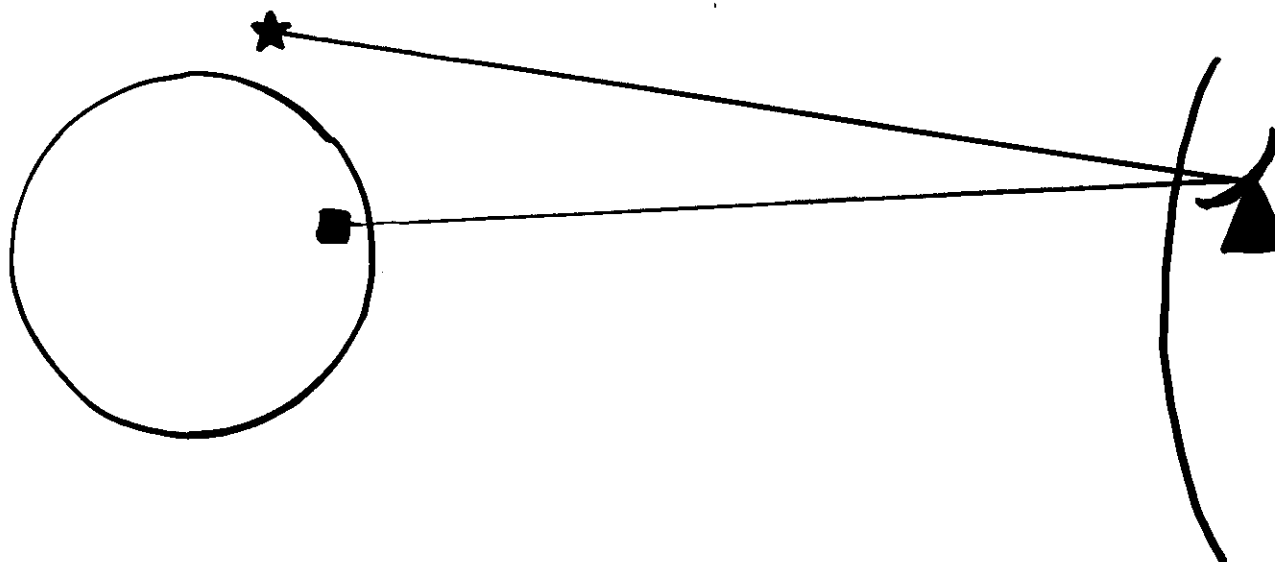
——>物理秤動モデルの不確定性と同等の誤差が見込まれる。

（cf. LLR 位置精度約 3 m）

◇着陸前後の画像を解析し、着陸船を LISM 画像/DEM 上に同定する。

——>画像上の位置決定精度（10m~100m）

===>LISM 画像/DEM 上に基準点を導入。絶対 DEM 作製・校正に重要



◆SELENE-B 着陸船及びローバーの高精度位置決定（新しい測月基準点2）

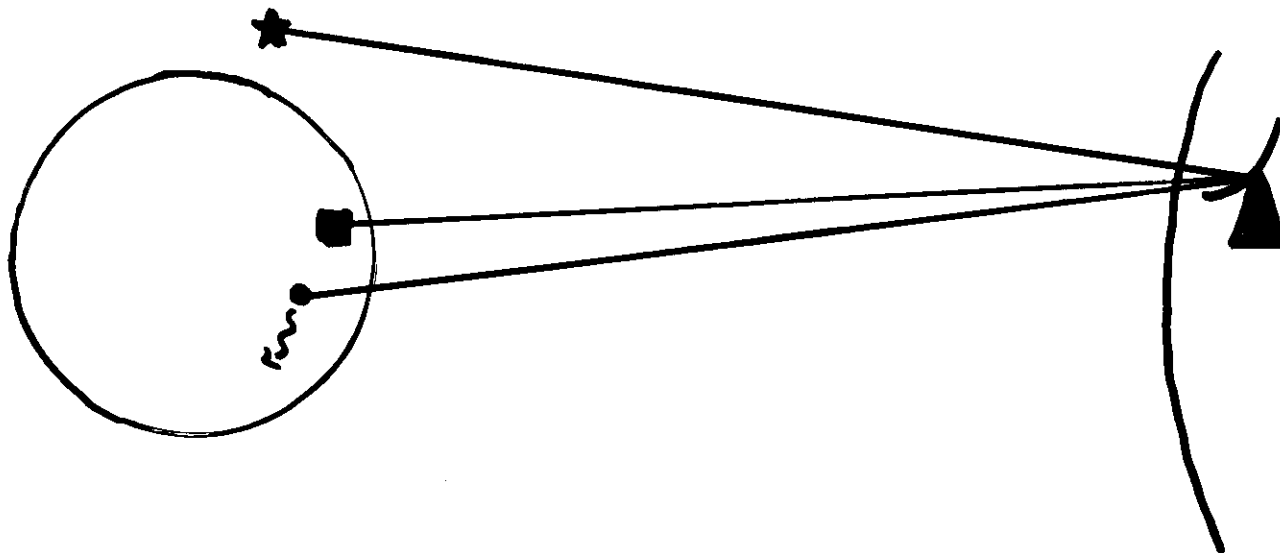
◇着陸船とローバーの相対位置を相対 VLBI 観測 (VERA) で高精度決定（精度 10cm）

——>ローバーを移動させて複数の点で計測すれば着陸船と同等の精度で着陸船を LISM 画像/DEM 上に同定することができる。

——>画像上の位置決定精度（10m~100m）

===>LISM 画像/DEM 上に複数の絶対基準点を導入。絶対 DEM 作製・校正に重要。

月面測地基準系の精度を大幅に改良（~km->数十 m）



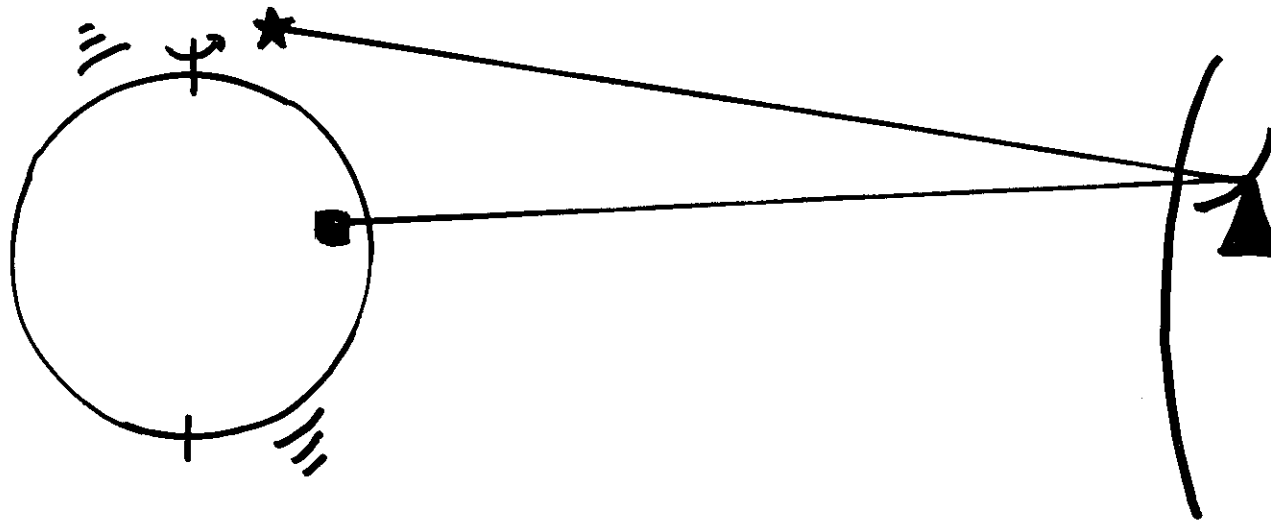
◆SELENE-B 着陸船及びローバーの高精度位置決定（物理秤動モデル検証）

◇相対 VLBI 観測 (VERA) による着陸船やローバーの高精度位置決定（精度 10cm）

——> 物理秤動モデルを検証できる可能性

LLR 位置精度約 3 m ←——→ 物理秤動約 0.4''

2 週間の観測でどこまで可能か？



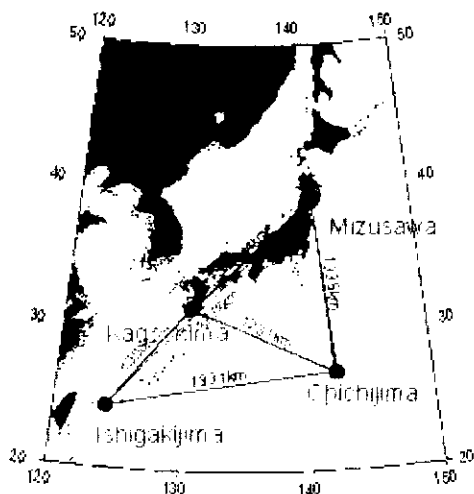


## ◆着陸船/ローバー搭載相対 VLBI 用電波源

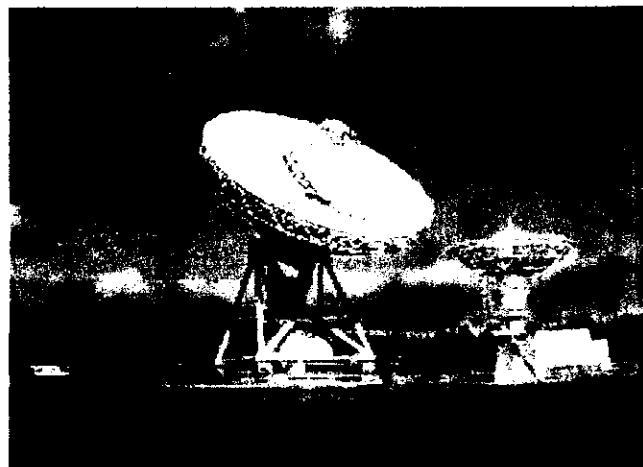
- ◇周波数 S 帯 3 波、X 帯 1 波
- ◇消費電力 2.2W
- ◇温度範囲  $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$
- ◇重量 15kg 以下
- ◇サイズ 発振部など  $150\times 200\times 100(\text{mm}^3)$ 、アンテナ  $\phi 150\text{mm}$
- ◇姿勢 地球方向  $\pm 20^{\circ}$

## ◆地上観測装置 (VERA)

VERA 局配置図



VERA 水沢局



### VERA 概要

目標精度	光路長換算で 0.1mm, 位置精度として 10 マイクロ秒角台
観測方法	2 ビーム同時受信による位相補償 VLBI
観測局	水沢、鹿児島、石垣島、小笠原父島
アンテナ	各局口径 20m
受信周波数帯	22, 43, 8, 2GHz

## ◆まとめ

- 1、 着陸船&クエーサーの相対 VLBI 観測 (VERA) による高精度位置決定及び着陸前後の画像解析で着陸船を LISM 画像/DEM 上に同定することにより、LISM 画像/DEM 上に絶対基準点を導入することができる。
- 2、 着陸船に加えローバーの高精度位置決定を同時に行うことにより LISM 画像/DEM 上に複数の絶対基準点を導入することができる。
- 3、 上記 1, 2 とは逆に、着陸船・ローバーの位置決め  
の基準となっている物理秤動モデル (暦) を検証できる可能性がある。